Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 731-750

Responses of Dragon's Head (*Lallemantia iberica*) and Lady's Mantle (*Lallemantia royleana*) Inoculated by Mycorrhiza to Different Irrigation Regimes

Arezoo Paravar[1], Saeideh Maleki Farahani[2*] and Alireza Rezazadeh[3]

Received: 30-12-2020
Revised: 20-07-2021
Accepted: 26-07-2021
Available Online: 26-07-2021

How to cite this article:
Paravar, A., Maleki Farahani, S., and Rezazadeh, A., 2023. Responses of Dragon's head (*Lallemantia iberica*) and Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) inoculated by mycorrhiza to different irrigation regimes. Journal of Agroecology 14(4): 731-750.
DOI: 10.22067/agry.2021.67929.1006

Introduction

In natural environments, plants are continuously exposed to diverse environmental conditions that may affect plant survival, development and production. Water deficiency considers as one of the most ominous abiotic factors that limits the growth and yield of crops and decreases water use efficiency and photosynthesis rate. Nowadays it is suggested to use bio-fertilizers as a tool to adjust adverse effects of water shortage in soil. Bio-fertilizers containing Arbuscular mycorrhizal fungi are supposed to use. Some plant species have the ability to form a symbiosis relationship with the Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). AMF can increase growth and yield of plants under water deficiency, and it is one of the most important bio-inoculant that can be used to adjust adverse effects of water stress in plants. AMF-symbiosis considerably increases root colonization which turns into improving water use efficiency. Also, it establishes a platform to increase phosphorus mobility between soil and roots in the rhizosphere. *Lallemantia iberica* (Dragon's head) and *Lallemantia royleana* (Lady's mantle) are medicinal plants that belong to the Lamiaceae family. Genus *Lallemantia* seeds contain mucilage, polysaccharide, fiber, oil, protein, and plenty of valuable secondary metabolites. Limited information is availiable about the ability of these two species to make symbiosis relation with AMF under water deficit condition. Hence, the current study was aimed to evaluate of *Lallemantia iberica* and *Lallemantia royleana* inoculated by mycorrhizal in the different irrigation regimes.

Materials and Methods

The field trial was conducted at the Research Farm of the Agricultural Faculty of Shahed University, Tehran, during the cropping season of 2018 and 2019. A split-factorial experiment was employed in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main plot consisted of three-level of irrigation regimes (30% (I_{30}; without stress), 60% (I_{60}; mild stress), and 90% (I_{90}; sever stress) depletion of available water resource). The sub plots were factorial combination mycorrhizae (non-inoculation and inoculation of mycorrhizae) and plant species of *Lallemantia* (*L.iberica* and *L. royleana*).

Results and Discussion

1- Ph.D. Student, Department of Crop Production and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Crop Production and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: maleki@shahed.ac.ir)

Increasing water deficit significantly reduced plant height, grain yield, chlorophyll *a* and *b*, water use efficiency, root colonization, seed phosphorus, seed mucilage, and seed oil content However, the highest plant height, grain yield, chlorophyll *a* and *b*, water use efficiency, root colonization, seed phosphorus, mucilage, and oil seed content obtained at 60% available water soil of depletion (mild stress). The application of mycorrhizae increased plant height, grain yield, chlorophyll *a* and *b*, water use efficiency, root colonization, seed phosphorus, seed mucilage, and oil seed content in cross all irrigation regimes. It has been reported that establishment a relationship of symbiotic AMF with roots of host plant, through spreading the hyphae and developing the root system, improves growth and provides more water for plants, which finally this ability leads to the yield, root colonization and water use efficiency. Inoculated and non-inoculated *L .royleana* had the greatest resistance to different levels of irrigation regimes and mycorrhizal treatments than *L. iberica.* It has been reported that *L. royleana* was more tolerant to water deficit in compared to *L. iberica* Also the results showed that the highest root colonization was in *L. royleana* species which was grown under different levels of irrigation regimes and mycorrhizal treatments.

Conclusion

In general in this research, it can be concluded that under water deficit stress conditions, water deficit stress damages can be reduced in both species of *Lallemantia* with careful irrigation management (using an irrigation regime of 60% available water soil of depletion) and application of mycorrhizae.

Keyword: Drought stress, Grain yield, Root colonization, Seed phosphorous, Water use efficiency.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) تلقیح شده به قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت آبیاری

آرزو پراور[۱]، سعیده ملکی فراهانی[۲*] و علیرضا رضازاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

پراور، آ.، ملکی فراهانی، س.، و رضازاده، ع.، ۱۴۰۱. واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) تلقیح‌شده به قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت آبیاری. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۷۵۰-۷۳۱.

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) تلقیح شده به قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت آبیاری بود. آزمایش به‌صورت اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، رژیم آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک) و ترکیب فاکتوریل قارچ آربوسکولار مایکوریزا (کاربرد و عدم کاربرد) و گونه گیاهی بالنگو (بالنگو شهری (*L. iberica*) و بالنگو شیرازی (*L. royleana*) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. کم آبیاری در هر دوگونه باعث کاهش ویژگی‌های رشدی و محتوای کلروفیل، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، کلونیزاسیون ریشه و فسفر بذر، موسیلاژ بذر و محتوی روغن بذر شد؛ به‌طوری‌که کمترین این صفات در تیمار ۹۰ درصد تخلیه آب به‌دست آمد، امّا کاربرد مایکوریزا تأثیر مثبت بر روی این صفات در هر دو گونه گذاشت. در گیاهان تلقیح شده هر دو گونه، میانگین صفاتی چون عملکرد دانه، کلونیزاسیون ریشه، کارایی مصرف آب، فسفر بذر، موسیلاژ بذر و محتوی روغن بذر در تیمار آبیاری پس از ۶۰ درصد تخلیه آب، بیشتر از سایر تیمارهای آبیاری بود. درصد کاهش عملکرد دانه در گونه شهری در پاسخ به محدودیت آب، بیشتر از بالنگوی شیرازی بود، امّا در گونه شیرازی به‌خصوص پس از کاربرد قارچ مایکوریزا نه تنها عملکرد دانه کاهش نیافت، بلکه میزان کلونیزاسیون و کارایی مصرف آب، نیز افزایش یافت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که کاربرد قارچ مایکوریزا می‌تواند اثرات منفی تنش کم آبی را بر عملکرد بالنگو شهری و شیرازی کاهش دهد و سبب بهبود رشد و عملکرد آن‌ها شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، عملکرد دانه، فسفر بذر، کارایی مصرف آب، کلونیزاسیون ریشه

مقدمه

بالنگو (*Lallemanti sp*) یکی از گیاهان ارزشمند خانواده نعناعیان می‌باشد که دارای پنج گونه *L. peltata*، *L.canescens*، *L.baldshuanica*، *L. royleana*، *L. iberica* است، که از دیر باز در طب سنتی ایران مورد استفاده قرار گرفته است (Abdollah & Maleki Farahani 2019). بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallrmantia royleana*) به‌دلیل موسیلاژ فراوانی که

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۳- استادیار، گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: maleki@shahed.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.67929.1006

دارند در درمان اختلالات گوناگون نظیر اختلالات کبدی و بیماری‌های کلیوی کاربرد دارند و با توجه به بالا بودن میزان روغن آن، در صنایع چرم‌سازی، رنگ‌سازی، روان‌کننده و تهیه صابون نیز استفاده می‌شود (Al-Sanfi. 2019a,bZlantov et al., 2012 ;). بنابراین، با در نظر گرفتن خواص دارویی و صنعتی، گونه‌های بالنگو به‌عنوان گیاهی چند منظوره معرفی می‌شوند و امروزه کشت گونه‌های بالنگو شهری و شیرازی به‌دلیل محتوای روغن بالا (۳۰- ۴۵ درصد) و اسید چرب امگا سه بسیار قابل توجه است (Paravar et al., 2021a).

کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و تولیدات گیاهی است که می‌تواند تنش خشکی را برای گیاهان ایجاد کند (Mohammadi et al., 2018). تنش خشکی ناشی از کمبود آب می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌های گیاهان، کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی، تغییرات در محتوای کلروفیل، آسیب در دستگاه فتوسنتزی، مهار فتوشیمیایی و کاهش رشد و عملکرد محصول شود (Attarzadeh et al., 2019Ebrahimian et al., 2019 ;). یکی از مهم‌ترین عوامل به‌منظور برنامه‌ریزی مصرف آب، توجه به کارایی مصرف آب یا مقدار تولید ماده خشک در واحد مصرف آب است. به‌طور نسبی، در شرایط زراعی، بهبود کارایی مصرف آب، اثرات ناشی از کمبود آب را تعدیل می کند (Askari Abbaspour et al., 2012 ; et al., 2019). گزارش شده است، تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب بالنگو شهری و شیرازی به‌دلیل کاهش رشد و توسعه سلولی (Abdollahi & Paravar et al., 2018; Maleki Frahani et al, 2019). کاهش کارایی مصرف آب و عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum L.*) (Askari et al., 2019) و کاهش رشد ریشه و کلونیزاسیون ریشه در رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) و آویشن (*Thymus volgaris L.*) شده است (Pirzad & Mohammadzadeh, 2018).

امروزه برای مقابله با خشکی به‌جای استفاده از استراتژی‌های پرهزینه تغییر تقویم‌های کشت محصول و توسعه ارقام متحمل به خشکی، به کاربرد کودهای زیستی اشاره شده است. در مطالعات انجام شده، استفاده از کودهای زیستی حاوی قارچ مایکوریزا برای تعدیل اثرات تنش خشکی پیشنهاد شده است (Bonfante & Genre, 2010). نتایج تحقیقات نشان داده است که قارچ‌های مایکوریزا قادر هستند اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نمایند (Plouznikoff et al., 2019). قارچ مایکوریزا آرباسکولار برای جذب کربن با ریشه‌های گیاه میزبان رابطه همزیستی برقرار می‌کند، زیرا کربن باعث رشد آن‌ها شده و چرخه زندگی قارچ را نیز تکمیل می‌نماید و در عوض، قارچ مایکوریزا به افزایش رشد و عملکرد گیاه میزبان کمک کرده و با بهبود ساختار خاک و افزایش کلونیزاسیون ریشه، جذب عناصر معدنی و آب را افزایش می‌دهد (Pawar et al., Pirzad & Mohammadzadeh 20182018 ;). گزارش شده است، در شرایط تنش خشکی کاربرد قارچ مایکوریزا باعث تغییر در سطح بعضی هورمون‌ها مثل آبسزیک اسید، جذب مستقیم آب توسط هیف‌های قارچ در خاک و انتقال آن به گیاه میزبان، افزایش تبادلات گازی برگ و میزان فتوسنتز، آسیمیلاسیون نیترات و فسفر، افزایش هدایت الکترولیکی برگ، فعالیت فتوسنتزی، تنظیم اسمزی و تغییر در انعطاف‌پذیری غشای سلولی شده است (Langeroodi et al., 2020). گزارش شده است، تلقیح با مایکوریزا منجر به افزایش عملکرد دانه و کلونیزاسیون ریشه آویشن و رزماری در رژیم‌های متفاوت آبیاری شد (Pirzad & Mohammadzadeh, 2018).

باتوجه به اینکه مدیریت تغذیه گیاهی در جهت افزایش عملکرد، پایداری تولید و حفظ محیط زیست است، این مطالعه فرض می‌کند که تلقیح قارچ مایکوریزا می‌تواند یک روش مؤثر به‌منظور کاهش اثرات مخرب تنش خشکی و حفظ عملکرد و کیفیت محصول در بالنگو باشد. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی واکنش بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در شرایط کم آبیاری است.

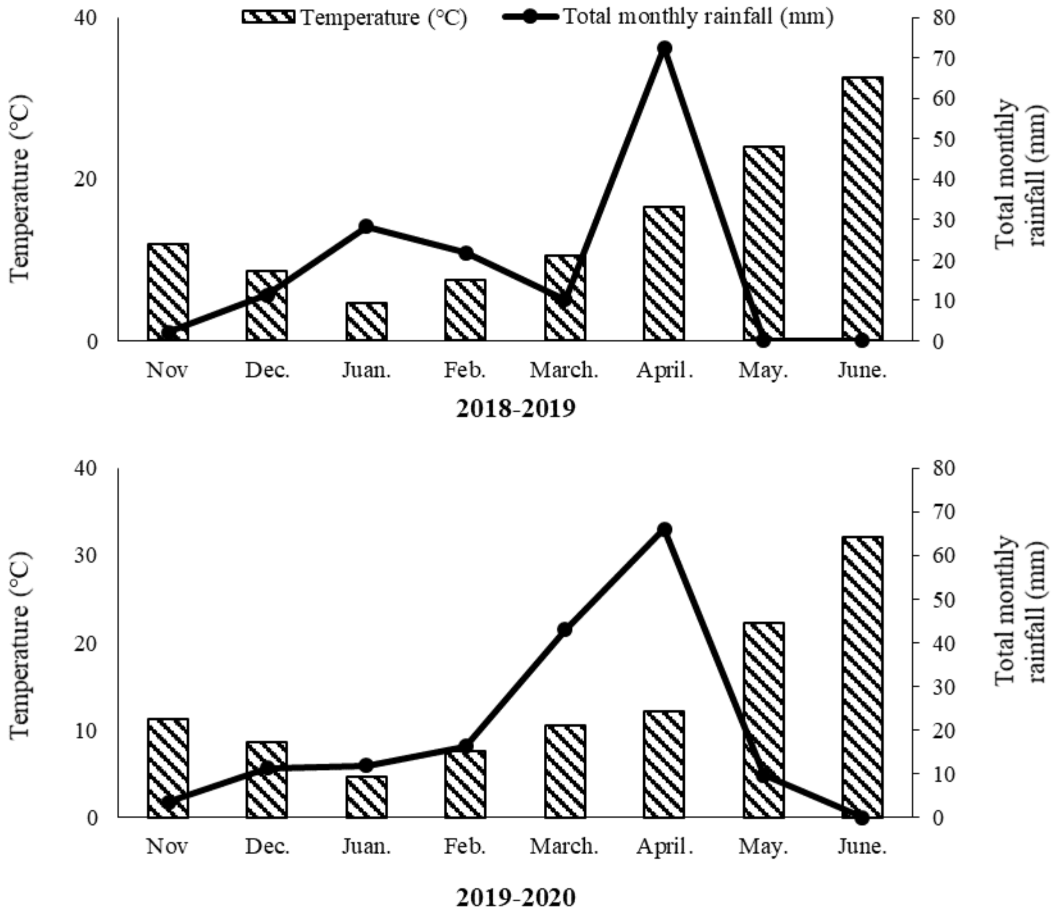
مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۹۰ متر از سطح دریا در دو سال زراعی ۱۳۹۸- ۱۳۹۷ اجرا گردید. نمونه‌های خاک از پنج نقطه تصادفی از عمق‌های صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ و اطلاعات مربوط به میانگین دما و بارش در طول دوره رشد در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک برای سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷.

Table 1- Physico-chemical properties of soil for the 2018 and 2019 growing seasons.

سال Year	بافت Texture	نیتروژن N (%)	آهن Fe (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته خاک pH
2018	لومی	0.11	12	8.52	376.00	4.23	7.09
2019	لومی	0.05	14.27	8.78	382.82	4.12	7.39



شکل ۱- بارش کل و متوسط دمای ماهانه در سال زراعی ۱۳۹۸- ۱۳۹۷

Fig. 1- Total rainfall and average monthly air temperature in the 2018 and 2019 growing seasons

مشخصات آماری و اجرای طرح

به‌منظور بررسی واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت آبیاری، آزمایشی به‌صورت اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای عامل اصلی شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری پس از ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده (شاهد)، آبیاری پس از ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک (تنش متوسط) و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک (تنش شدید)) بود. ترکیب فاکتوریل کود (کاربرد و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا) گونه گیاهی بالنگو (بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana*)) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. مایه تلقیحی قارچ‌های آربوسکولار (ترکیب سه گونه قارچ *Claroideoglomus etunicatum*، *Funneliformis mossea* و *Rhizophagus intraradices*) حاوی مخلوطی از ریشه گیاه سورگوم، خاک، هیف و اسپور (۱۰۰-۲۰۰ اسپور در هر گرم) بود که از کلکسیون میکروبی

مؤسسه آب و خاک کرج، تهیه شد (Schenk & Perez, 1990). قارچ‌های مایکوریزا به‌مقدار ۲۰ گرم در متر طولی و قبل از کاشت بذر با ایجاد شیار در کنار خطوط کاشت و دو سانتی‌متر پایین‌تر از محل استقرار بذر قرار گرفتند (Pirzad & Mohammadzadeh, 2018). بذرهای بالنگو شهری و شیرازی به‌ترتیب از مرکز تحقیقات شهرستان سلماس در آذربایجان غربی و شهرستان کلات در مشهد تهیه گردید. ابعاد هر کرت آزمایشی چهار مترمربع (طول دو متر × عرض دو متر)، فاصله بین کرت‌ها یک متر (برای جلوگیری از عمل تداخل و آلودگی قارچ‌ها یک متر به‌صورت نکاشت به‌عنوان محافظ بین کرت‌ها قرار گرفت. فاصله بین تیمارهای اصلی دو متر (برای جلوگیری از نفوذ آب در تنش کم آبی بین کرت‌های اصلی) در نظر گرفته شد. فاصله بین بوته‌ها پنج سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019). به‌ترتیب در ۱۵ و ۲۳ آبان‌ماه در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ کشت انجام شد. بعد از استقرار گیاهان (در مرحله هشت برگی) تیمارهای خشکی نیز اعمال شدند (Abdolahi & Maleki Farahani, 2019). در طول آزمایش مراحل داشت مثل وجین و تنک بر حسب نیاز اعمال شد.

جهت اعمال رژیم‌های آبیاری، مقادیر رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (۲۰/۸۶ درصد) و پژمردگی دائم (۱۰/۸۱ درصد) با استفاده از صفحات فشاری در گروه علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری شد. زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش وزنی از طریق نمونه‌گیری در یک نوبت در وسط هر روز از عمق توسعه ریشه در تیمارهای مختلف و رسیدن به رطوبت مورد نظر تعیین شد. میزان آب آبیاری برای هر کرت با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر)، مساحت کرت و رطوبت ظرفیت زراعی خاک بر حسب مترمکعب محاسبه شد (جدول ۲) (Mohammadi et al., 2018Xu et al., 2018;). آبیاری به‌صورت جوی و پشته انجام شد و انتهای کرت‌ها برای جلوگیری از خروج آب به‌طور کامل بسته شد. مقدار آب لازم برای هر تیمار با استفاده از کنتور که در مزرعه نصب گردید، اندازه‌گیری شد (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019).

جدول ۲- تعداد آبیاری و مقدار کل آبیاری اعمال شده هر تیمار آبیاری به کرت‌های گونه‌های گیاهی بعد از شروع رژیم آبیاری

Table 2- Irrigations number and amount of water applied per irrigation treatments to *Lallemantia* species plots after starting water regimes

گونه گیاهی Plant species	رژیم آبیاری Irrigation regime	تعداد آبیاری Number of irrigation	مقدار کل آبیاری اعمال شده Total amount of applied water (m^3)
بالنگو شهری *L. iberica*	30%	18	0.652
	60%	11	0.794
	90%	8	0.864
بالنگو شیرازی *L. royleana*	30%	15	0.543
	60%	9	0.650
	90%	7	0.756

پس از اعمال تیمارهای آبیاری در مرحله گل‌دهی (۱۴ فروردین ۱۳۹۷ و ۱۷ فروردین ۱۳۹۸)، سه بوته به‌صورت تصادفی از هرکرت انتخاب شده و میزان محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949). با در نظر گرفتن اثر حاشیه در مرحله برداشت، پنج گیاه به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شده و ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان کلونیزاسیون ریشه، ابتدا ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده در سطح پتری دیش‌هایی که دارای شبکه‌های مربعی هستند، پخش گردید و زیر بینی‌کولار مشاهده شدند و تعداد تقاطع‌های آن‌ها با خطوط عمودی و افقی تعیین شد. از بین این برخوردها آن‌هایی که با بخش کلونیزه شده ریشه تقاطع داشتند نیز به‌طور جداگانه شمارش شدند و به‌صورت کسری از کل تقاطعات به‌دست آمدند. چنانچه این کسر در ۱۰۰ ضرب شود، میزان کلونیزاسیون ریشه به‌صورت درصد به‌دست می‌آید (Kormanik & McGraw, 1982). برای تعیین عملکرد نهایی دانه پس از حذف اثر حاشیه‌ای، کل بوته‌های هر کرت کف‌بر شده و پس از کوبیدن، دانه‌ها جدا و برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. مقدار کارایی مصرف آب در پایان دوره رشد از طریق عملکرد دانه به‌دست آمده به آب مصرف شده محاسبه شد (Askari et al., 2019). تجزیه فیزیکوشیمیایی لازم جهت تعیین مقدار فسفر انجام شد. جهت تعیین درصد فسفر در بذرهای بالنگو شهری و شیرازی از روش هضم در

بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسلیک و آب اکسیژنه استفاده گردید. پس از تهیه عصاره، با روش نورسنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Lambda25، Perkin Elmer، USA) میزان فسفر بذر اندازه‌گیری شد (Stuffins, 1967). جهت اندازه‌گیری موسیلاژ بذر، یک گرم بذر خشک با ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک درصد نرمال تا تغییر رنگ پوسته بذر حرارت داده شد. محلول موسیلاژی حاصل جدا گردید و بذرها دو بار با پنج میلی‌لیتر آب جوش شستشو داده شدند و محلول‌های حاصل به محلول موسیلاژ اولیه اضافه گردید. با افزودن ۶۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک ۹۶ درصد به محلول مذکور و قرار دادن آن به‌مدت پنج ساعت در یخچال رسوب موسیلاژی به‌دست آمد، که پس از صاف کردن، در آون در درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۲ ساعت قرار گرفت و سپس توزین گردید و مقدار موسیلاژ بر حسب گرم در هر گرم بذر تعیین و به‌صورت درصد ثبت شد (Sharma & Koul, 1986). محتوی روغن دانه، از روش استخراج با حلال آلی هگزان و با استفاده از دستگاه سوکسله مدل SOX4060 اندازه‌گیری شد (Visavadiya et al., 2009). پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از همگنی واریانس خطا تجزیه مرکب برای هر دو سال زراعی انجام شد. تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3.1 و مقایسات میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میزان عملکرد دانه در هر دو گونه بالنگو با کم شدن مقدار رطوبت موجود در خاک کاهش یافت و بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه در رژیم‌های آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۲). با کاهش مقدار رطوبت در داخل خاک، انتقال مواد غذایی از منبع به مخزن کاهش می‌یابد که در نتیجه، این کاهش می‌تواند تأثیری منفی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Pawar et al., 2018). گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا بیشترین میزان عملکرد دانه را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده داشت (شکل ۲). گزارش شده است، قارچ مایکوریزا با افزایش همزیستی با ریشه گیاه سرخارگل (*Echinacea angustifolia L.*) سبب بهبود و افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی شده که در نتیجه، تأثیری مثبت و افزایشی بر عملکرد دانه دارد (Attarzadeh et al., 2020). بالنگو شهری در مقایسه با بالنگو شیرازی بالاترین میزان عملکرد دانه در هر رژیم آبیاری و کودی داشت. در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک، میزان عملکرد دانه بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده به‌ترتیب ۸ و ۲۸ درصد در مقایسه به گیاهان تلقیح نشده در شرایط آبیاری نرمال افزایش یافت (شکل ۲). نتایج عبدالهی و ملکی فراهانی (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019) بر روی بالنگو شهری و شیرازی نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان عملکرد دانه کاهش یافت و همچنین یادآور شدند که عملکرد دانه در بالنگو شهری به‌دلیل بالاتر بودن وزن هزار دانه و بیشتر بودن تعداد دانه در فندقه و تعداد فندقه در بوته بیشتر از بالنگو شیرازی است.

نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر ارتفاع بوته را نشان داد (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی میزان ارتفاع بوته هر دو گونه بالنگو کاهش یافت. کمترین مقدار ارتفاع بوته در بالنگو شهری در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد، درحالی‌که در بالنگو شیرازی در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ مشاهده شد (شکل ۳). کاهش ارتفاع بوته بالنگو شهری و شیرازی با افزایش تنش خشکی گزارش شده است (Abdollahi &Maleki Farahani, 2019). گونه‌های تلقیح شده بالنگو بیشترین ارتفاع بوته را در مقایسه به گیاهان تلقیح نشده داشتند. نتایج مطالعاتی عسگری و همکاران (Askari et al., 2018) و قلی‌نژاد و همکاران (Gholinezhad et al., 2020) بر روی کنجد (*Sesamum indicum* L.) بیانگر آن است که تلقیح قارچ مایکوریزا سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود و نشان دادند، همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه کنجد از طریق جذب آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتر و بهبود رشد، نظیر ارتفاع گیاه می‌گردد. در مقایسه بین دو گونه گیاهی، بالنگو شهری بیشترین ارتفاع را در رژیم‌های متفاوت آبیاری و کودی داشت (شکل ۳). بیشترین ارتفاع بالنگو شهری (۱۰۴/۸۲ سانتی‌متر) و بالنگو شیرازی (۸۲/۶۱ سانتی‌متر) رشد یافته در شرایط تلقیح قارچ مایکوریزا در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۳). کاهش ارتفاع بوته در بالنگو شهری و شیرازی در اثر تنش

خشکی گزارش شده است (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019). پیشنهاد شده است که رشد کم، یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است (Mohammadi et al., 2019)، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به‌جای استفاده برای رشد شاخساره به‌سمت مولکول‌های نگه‌دارنده اسید آمینه‌ای از جمله پرولین در برابر تنش هدایت می‌کند (Khalid, 2006).

نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر کلونیزاسیون ریشه را نشان داد (جدول ۳). مشاهده شد که افزایش شدت تنش خشکی مقدار کلونیزاسیون ریشه را کاهش داد و بیشترین و کمترین مقدار کلونیزاسیون را هر دو گونه بالنگو به‌ترتیب در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک داشت (شکل ۵). این نتایج مطابق با یافته‌های پیرزاد و محمدزاده (Pirzad & Mohammadzadeh, 2018) بر روی آویشن و رزماری است که گزارش کردند که کمبود شدید آب در خاک باعث کاهش رشد و کلونیزاسیون ریشه شد و نشان دادند که کاهش کلونیزاسیون ریشه در شرایط تنش خشکی را می‌توان به‌دلیل کاهش توانایی جوانه‌زنی اسپورها در خاک دانست چون‌که اسپورها زنده هستند و برای جوانه‌زنی‌شان نیاز به رطوبت و کربن دارند. کاربرد قارچ مایکوریزا تأثیر مثبت و افزایشی بر کلونیزاسیون ریشه در شرایط تنش خشکی داشت. گزارشاتی مبنی بر افزایش کلونیزاسیون ریشه در گندم (*Triticum aestivum* L.) (Mathur et al., 2019) و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L) (Hashem et al., 2019) تلقیح شده با قارچ مایکوریزا گزارش شده است. بیشترین میزان کلونیزاسیون بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده به‌ترتیب به‌میزان ۸۵/۳۸ و ۶۶/۲۴ درصد در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک بود و کمترین میزان کلونیزاسیون در در گونه‌های تلقیح نشده بالنگو شهری و شیرازی در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۵). گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده آب را از خاک سریع‌تر و کامل تر تخلیه می‌کنند و باعث می-شوند که پتانسیل آب خاک کاهش بیشتری پیدا کرده، به همین منظور سطح برگ‌ها افزایش یافته که این خود باعث افزایش نیاز تعرق گیاهان مایکوریزایی شده و از طرف دیگر، سیستم ریشه‌ای در گیاهان مایکوریزایی توسعه بیشتری یافته است. همه این عوامل باعث می‌شود که رشد ریشه مایکوریزایی سطح تماس بیشتری با خاک پیدا کند و بدین صورت سریع‌تر آب را از خاک جذب نماید (Mathur et al., 2019). بالنگو شیرازی تلقیح شده در مقایسه به بالنگو شهری بیشترین مقدار کلونیزاسیون ریشه را داشت (شکل ۵). با توجه به بالاتر بودن میزان موسیلاژ بالنگو شیرازی نسبت به بالنگو شهری (Paravar et al., 2021a)، و به‌دلیل اینکه موسیلاژ از کربن‌های بسیاری نیز ساخته شده است (Bhatt et al., 2019)، احتمالاً این شرایط تأثیر به‌سزایی برای استعمار بیشتر ریشه توسط قارچ‌های مایکوریزا برای جذب کربن از بالنگو شیرازی داشته است.

نتایج معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر کارایی مصرف آب را نشان داد (جدول ۳). مشاهده شد که در هر دو گونه بالنگو، با افزایش تخلیه آب، مقدار کارایی مصرف آب کاهش یافت، این نتایج هم‌راستا با مطالعات صورت گرفته بر روی آفتاب‌گردان (Karam et al., 2007) و کنجد (Askari et al., 2019) است. با توجه به جدول ۲ مشاهده شد که در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک، تعداد دفعات آبیاری کمتر بوده و مقدار آب در هر دوره آبیاری بیشتر بوده است، لذا مقدار کل آب مصرفی بیشتر از تیمارهای دیگر بوده است. به این ترتیب کارایی مصرف آب در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک کاهش یافت (شکل ۶). با توجه به نتایج مشاهده شد که بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف آب در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک بود. گزارش کردند که دلیل افزایش کارایی مصرف آب در تنش متوسط به‌دلیل بسته شدن جزئی روزنه‌ها و کاهش تعرق کارایی مصرف آب افزایش یافته، امّا در مقابل در شرایط تنش شدید به‌دلیل بسته شدن کامل روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و عملکرد، کارایی مصرف آب کاهش یافته است (Soared et al., 2021).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) واکنش بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت در آبیاری

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of *L. iberica* and *L. royleana* inoculated by mycorrhiza inoculated by mycorrhiza in different irrigation regimes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Grain yield	ارتفاع بوته Plant height	کلونیزاسیون ریشه Root colonization	کارایی مصرف آب Water use efficiency
سال Y	1	1092.002[n.s]	1.393522[n.s]	2.16555[n.s]	0.000305[n.s]
بلوک (سال) Block (Y)	4	5158.604	6.612203	0.82901	0.001279
رژیم آبیاری IR	2	882527.301**	904.986925**	1092.92526**	0.846514**
سال × رژیم آبیاری Y×IR	2	166.851[n.s]	0.113499n.s	0.36616[n.s]	0.000039[n.s]
بلوک (سال × رژیم آبیاری) Block (Y×IR)	8	7096.367	28.347961	5.33121	0.00161
قارچ مایکوریزا M	1	527980.88**	4941.560652**	3547.05192**	0.000379[n.s]
گونه گیاهی PS	1	7315312.5**	2589.000868**	32691.93239**	2.28125**
سال × قارچ مایکوریزا M×Y	1	322.58[n.s]	1.096022[n.s]	0.01617[n.s]	0.000194[n.s]
سال × گونه گیاهی Y×PS	1	392[n.s]	15.079201n.s	0.04381[n.s]	0.000125[n.s]
رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا IR×M	2	89776.101**	84.980907**	5.32429[n.s]	0.007102*
رژیم آبیاری × گونه گیاهی IR×PS	2	1016688.67**	96.319456**	466.92543**	0.397778**
کود × گونه گیاهی M×P	1	32[n.s]	13.390313[n.s]	752.52361**	0.005201[n.s]
رژیم آبیاری قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی IR×M×PS	2	98328.643**	176.641817**	55.97317**	0.033812**
سال × رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا M×IR×Y	2	95.408[n.s]	6.439055[n.s]	0.18689[n.s]	0.00003[n.s]
سال × رژیم آبیاری × گونه گیاهی Y×IR×PS	2	194.526[n.s]	3.383345[n.s]	0.02555[n.s]	0.000049[n.s]
سال × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی PS×M×Y	1	88.889[n.s]	1.459201[n.s]	0.01151[n.s]	0.000142[n.s]
سال × رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی PS× M× Y×IR	2	150.984[n.s]	2.775428[n.s]	0.43659[n.s]	0.000054[n.s]
خطا Error	36	6013.59	11.11	2.81	0.001
ضریب تغییرات C.V (%)		7.62	4.1	3.79	6.47

*، ** و n.s: به‌ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

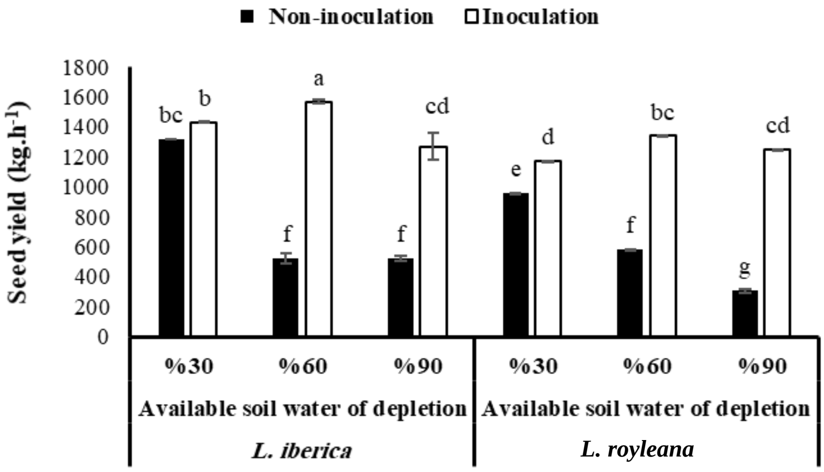
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) واکنش بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت در آبیاری

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of *L. iberica* and *L. royleana* inoculated by mycorrhiza inoculated by mycorrhiza in different irrigation regimes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	فسفر بذر Seed P	موسیلاژ بذر Seed mucilage	محتوی روغن بذر Seed oil content
سال Y	1	0.041718$^{n.s}$	1.61101$^{n.s}$	2.16555$^{n.s}$	0.29n.s	0.2$^{n.s}$
بلوک (سال) Block (Y)	4	1.645478	0.74979	0.82901	2.11	0.47
رژیم آبیاری IR	2	90.575579**	497.70638**	1092.92526**	1460**	19.3**
سال×رژیم آبیاری Y×IR	2	0.056381$^{n.s}$	1.69915$^{n.s}$	0.36616$^{n.s}$	0.05$^{n.s}$	0.84$^{n.s}$
بلوک (سال × رژیم آبیاری) Block (Y×IR)	8	1.705003	3.46631	5.33121	1.27	0.59
قارچ مایکوریزا M	1	85.148265**	10775.85401**	3547.05192**	7144.11**	2199.12**
گونه گیاهی PS	1	136.922144**	2101.14031**	32691.93239**	854.43**	130.02**
سال × قارچ مایکوریزا M×Y	1	0.506459$^{n.s}$	0.6479$^{n.s}$	0.01617$^{n.s}$	0.15$^{n.s}$	0.02$^{n.s}$
سال × گونه گیاهی Y×PS	1	0.079298$^{n.s}$	0.3542$^{n.s}$	0.04381$^{n.s}$	0.01$^{n.s}$	0.4$^{n.s}$
رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا IR×M	2	64.987621**	21.1154**	5.32429$^{n.s}$	616.62**	0.67$^{n.s}$
رژیم آبیاری × گونه گیاهی IR×PS	2	149.783283**	1061.97325**	466.92543**	135.5**	4.52**
کود × گونه گیاهی M×P	1	275.997204**	328.74753**	752.52361**	70.31**	11.85**
رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی IR×M×PS	2	143.640445**	30.75089**	55.97317**	67.04**	5.02**
سال × رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا M×IR×Y	2	0.029509$^{n.s}$	0.83929$^{n.s}$	0.18689$^{n.s}$	0.099$^{n.s}$	0.3$^{n.s}$
سال × رژیم آبیاری × گونه گیاهی Y×IR×PS	2	0.105846$^{n.s}$	0.11714$^{n.s}$	0.02555$^{n.s}$	0.003$^{n.s}$	0.44$^{n.s}$
سال × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی Y×M×PS	1	0.1868$^{n.s}$	0.20587$^{n.s}$	0.01151$^{n.s}$	0.003$^{n.s}$	0.18$^{n.s}$
سال × رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی IR× Y× M×PS	2	0.027616$^{n.s}$	0.40256$^{n.s}$	0.43659$^{n.s}$	0.02$^{n.s}$	0.28$^{n.s}$
خطا Error	36	0.84	3.73	2.81	1.04	0.31
ضریب تغییرات C.V (%)		5.69	2.81	3.79	6.3	2.25

*، ** و n.s: به‌ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

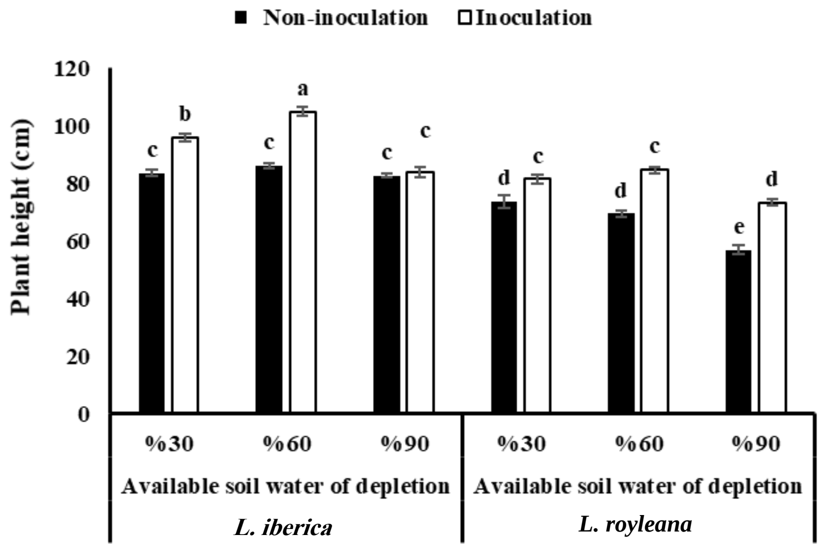


شکل ۲- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر عملکرد دانه بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 2-The effect of irrigation regimes and mycorrhizal fungi inoculation on seed yield of *L. iberica* and *L. roylean a*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می-باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

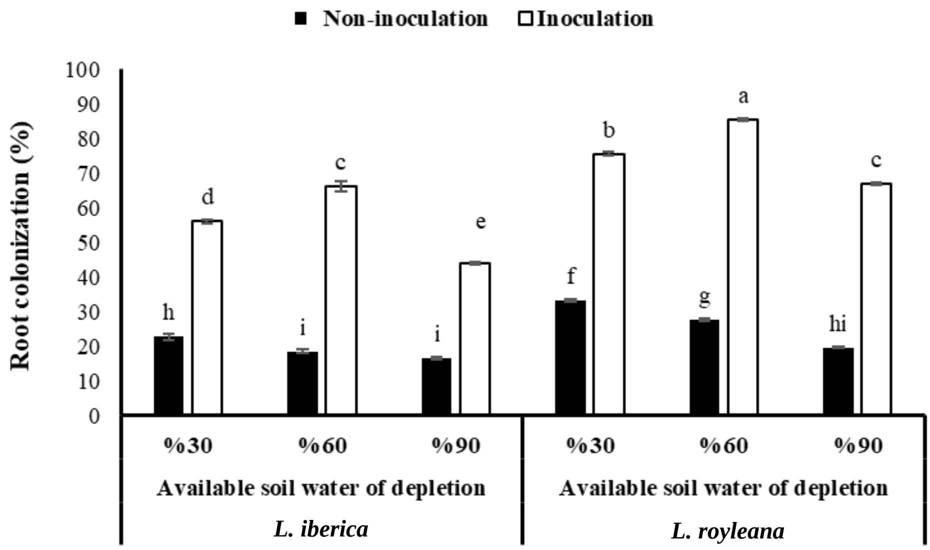


شکل ٤- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوری زا بر ارتفاع بوته بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 4-The effect of irrigation regimes and mycorrhizal fungi inoculation on plant height of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می-باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.



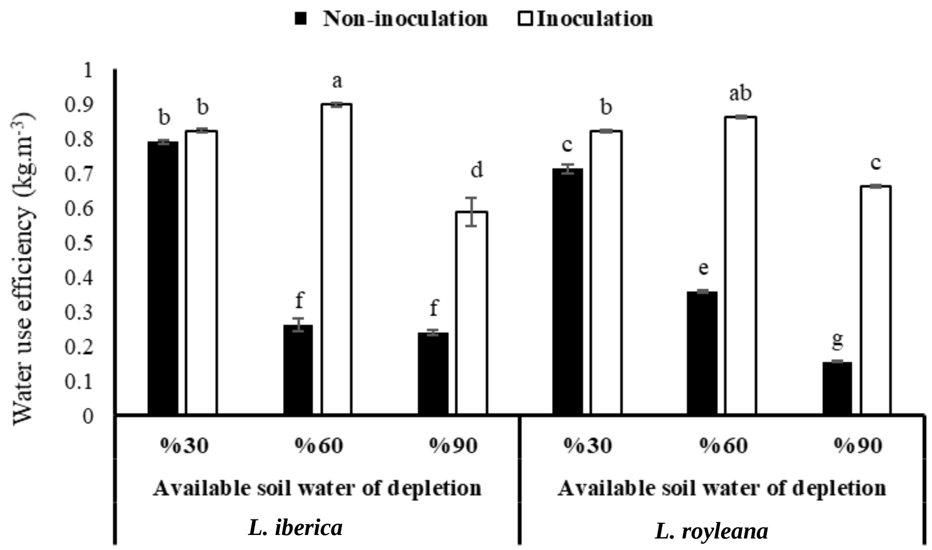
شکل ۵- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر کلونیزاسیون ریشه بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 5-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on root colonization of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می-باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش کارایی مصرف آب در تمامی تیمارهای آبیاری شد، به‌طوری‌که با کاربرد قارچ، کارایی مصرف آب در تیمار ۶۰ درصد در هر دو گونه بیشتر از شاهد ۳۰ درصد شد (شکل ۶). قارچ‌های مایکوریزا با توسعه سیستم ریشه گیاه میزبان کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهند (Farahani et al., 2013; Wu et al., 2019). میزان کارایی مصرف آب در بالنگو شهری از رژیم آبیاری ۳۰ تا ۶۰ درصد در مقایسه به بالنگو شیرازی بالاتر بود، امّا در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاد خاک مشاهده شد که مقاومت بالنگو شیرازی بیشتر بوده، در نتیجه کارایی مصرف بالاتری در مقایسه به بالنگو شهری داشت. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در هر دو گونه بالنگو تلقیح شده در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۷). در شرایط تنش خشکی قارچ مایکوریزا برای حفظ انتقال آب، انرژی تولیدی خود را برای تولید آربوسکول‌ها اختصاص می‌دهد و در نتیجه، باعث بهبود کارایی مصرف آب می‌شود (Declerck et al., 2019). بنابراین، تلقیح با قارچ مایکوریزا نه تنها عملکرد و پارامترهای رشد و عملکرد هر دو گونه بالنگو را افزایش داد، بلکه سبب بیشتر شدن کارایی مصرف آب در تنش خشکی هم شد. از آنجا که در هر دو گونه پس از تلقیح با قارچ مایکوریزا میزان کارایی مصرف آب در تیمارهای آبیاری ۳۰ و ۶۰ درصد در یک سطح آماری قرار گرفتند، امّا در تیمار ۹۰ درصد گونه شیرازی کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به گونه شهری نشان داد (شکل ۶)، می‌توان چنین بیان کرد که در این گونه در شرایط تنش خشکی کارایی قارچ مایکوریزا در تعدیل تنش خشکی بیشتر از بالنگو شهری است (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019).



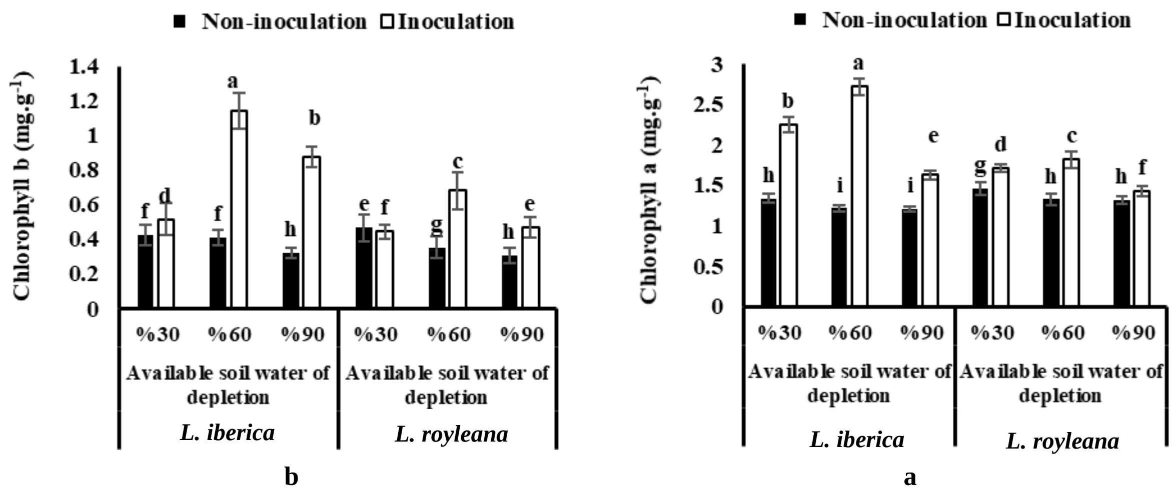
شکل ٦- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر کارایی مصرف آب بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 6-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on water use efficiency of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

مشاهده شد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر محتوای کلروفیل a و b معنی‌دار بود (جدول ۴). مشاهده شد که محتوای کلروفیل a و b هر دو گونه بالنگو تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل a و b به‌ترتیب در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۷b و ۷a). عبدالهی و ملکی فراهانی (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019) گزارش کردند که کاهش شدی مقدار آب آبیاری، باعث کاهش میزان محتوای فتسونتزی کلروفیل بالنگو شهری و شیرازی شد و بیان کردند که کاهش میزان محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی ، احتمالاً به‌دلیل افزایش تخریب رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند آنزیم کروفیلاز و پراکسیداز است (Chen et al., 2017). گزارش شده است که تنش خشکی به‌دلیل تأثیر در بسته شدن روزنه-ها و در نتیجه، کاهش دسترسی به CO_2 در مزوفیل باعث کاهش فتوسنتز گیاه می‌شود (Khosrowshahi et al., 2018). همزیستی ریشه‌های هر دو گونه بالنگو با قارچ مایکوریزا سبب افزایش محتوای کلروفیل a و b شد (شکل ۷b و ۷a). در واقع گسترش هیف‌های قارچ در ریزوسفر حرکت ریز مغذی‌ها از قبیل آهن، روی، کلسیم، منگنز و مس را تسهیل می‌کند و جذب آب را افزایش می‌دهد و باعث افزایش تحریک بیوسنتز کلروفیل در گیاه میزبان می‌شود که این امر نقش به‌سزایی بر بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه دارد (Ghanbarzadeh et al., 2020). بالنگو شهری تلقیح شده و تلقیح نشده نسبت به بالنگو شیرازی بیشترین محتوای کلروفیل a و b را در ژیم‌های متفاوت آبیاری و کودی داشت (شکل ۷b و ۷a). که این نتایج مطابق با یافته‌های عبدالهی و ملکی فراهانی (Abdollahi& Maleki Farahani, 2019) است که گزارش کردند بالا بودن مقاومت بالنگو شهری به شرایط تنش خشکی به‌دلیل حفظ محتوای کلروفیل و استفاده کارآمدتر از انرژی نور است. نتایج بیشترین محتوای کلروفیل a و b هر دو گونه بالنگو تلقیح شده با قارچ مایکوریزا را در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده نشان داد (شکل ۸b و ۸a). کاهش محتوای کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی ممکن است به‌دلیل صدمه به غشای تیلاکوئیدی و مهار سنتز پروتئین جمع آوری‌کننده نور (LHC) باشد، ولی قارچ مایکوریزا تنش خشکی را با باز نگه داشتن روزنه کاهش داده و انتقال گازها را برای فتوسنتز نیز تسهیل می‌کند و صدمات ایجاد شده به غشای تیلاکوئیدی را کاهش می‌دهد (Mathimaran et al., 2017).



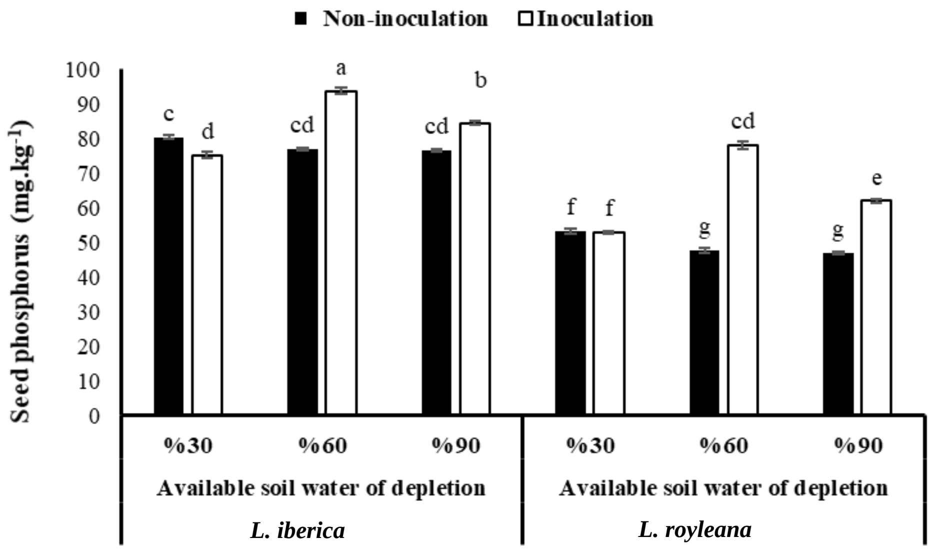
شکل ۷- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر کلروفیل a (a) و کلروفیل b (b) بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 7-The effect of irrigation regimes and mycorrhizal fungi inoculation on chlorophyll a (A) and chlorophyll b (B) of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

مشاهده شد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری× کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر میزان فسفر بذر معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد، میزان فسفر بذر با کاهش شدید مقدار رطوبت در خاک کاهش یافت، به‌طوری‌که بالاترین وکمترین مقدار فسفر بذر در رژیم آبیاری ۳۰ و ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۸) که این نتایج مطابق با یافته‌های صورت گرفته بر روی بادرنجبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) (Ghanbarzadeh et al., 2020) است که نشان دادند با کاهش مقدار آب آبیاری خاک، مقدار فسفر بذر کاهش یافت. گزارش شده است، کاهش مقدار آب آبیاری خاک، تعداد تارهای کشنده گیاه را نیز کاهش داده و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌نماید که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر به‌وسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد (Askari et al., 2019). مشاهده شد که گیاهان رشد یافته بالنگو در شرایط قارچ مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیشترین مقدار فسفر بذر را داشتند (شکل ۸). در شرایط تنش شدید کمبود آب، تحرک و در دسترس بودن مواد غذایی نظیر فسفر در خاک محدود است، امّا تلقیح گیاهان با قارچ مایکوریزا تأثیر مهمی در جذب این عنصر دارد (Hosseinzadeh et al., 2020). بالنگو شهری تلقیح شده و نشده در مقایسه به بالنگو شیرازی بیشترین مقدار فسفر بذر را در رژیم‌های متفاوت آبیاری داشت (شکل ۸). احتمالاً دلیل بالا بودن میزان فسفر بالنگو شهری در مقایسه با بالنگو شیرازی به‌دلیل افزایش رشد ریشه بالنگو شهری به نسبت بالنگو شیرازی است (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019) که قادر به نفوذ در لایه‌های عمیق‌تر خاک و جذب بیشتر عناصر غذایی است. بالنگو شهری و بالنگو شیرازی تلقیح شده به‌ترتیب ۱۳ و ۳۲ درصد افزایش مقدار فسفر بذر در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده که در رژیم آبیاری ۳۰ درصد رشد یافته بودند، داشت (شکل ۸). افزایش تجمع فسفر در بذرهای هر دو گونه در شرایط تنش خشکی به‌دلیل تلقیح با قارچ مایکوریزا است. به‌دلیل اینکه قارچ مایکوریزا توانسته فسفات بیشتری با احاطه کردن حجم وسیعی از لایه‌های خاک با گسترش هیف‌های قارچ از طریق رشد و توسعه ریشه به گیاه میزبان منتقل کند (Paravar et al., Golinezhad et al., 2020; 2021b).



شکل ۸- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر فسفر بذر بالنگو شهری و شیرازی

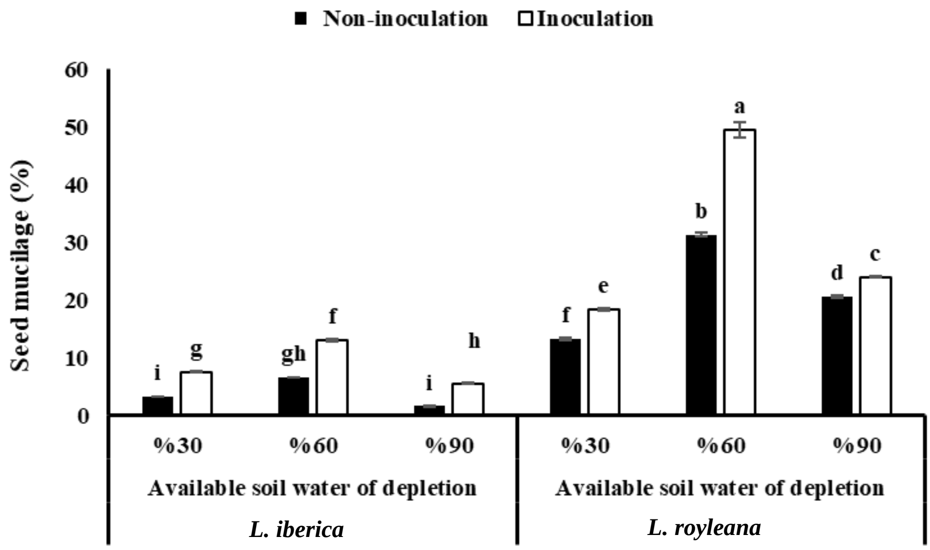
Fig. 8-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on seed phosphorus of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

نتایج معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر موسیلاژ بذر را نشان داد (جدول ۴). کمترین و بیشترین میزان موسیلاژ بذر در هر دو گونه بالنگو در رژیم آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد مشاهده شد (شکل ۹) که این نتیجه مطابق با یافته‌های صورت گرفته بر روی کتان (*Linum usitatissimum*) است که نشان دادند با افزایش تنش خشکی مقدار موسیلاژ بذر کاهش یافت (Rahimzadeh & Pirzad, 2019). تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش موسیلاژ بذر هر دو گونه بالنگو در تمامی تیمارهای آبیاری شد (شکل ۹). گزارش شده است افزایش میزان موسیلاز بذر در بذرهای بالنگو شهری (*Lallemantia iberica L.*) (Heydari & Pirzad, 2020) در شرایط کم آبی به‌دلیل تلقیح قارچ مایکوریزا است که جذب آب و عناصر غذایی را تسهیل می‌کند و منجر به بهبود فتوسنتز شده و میزان تجمع کربوهیدرات را در بذر نیز افزایش می‌دهد. مشاهده شد که میزان موسیلاژ بالنگو شیرازی تلقیح شده و تلقیح نشده در رژیم‌های متفاوت آبیاری بیشتر بود (شکل ۹)، که مطابق با یافته‌های پراور و همکاران (Paravar et al., 2018) بود که نشان دادند میزان موسیلاژ در بذرهای بالنگو شیرازی بالاتر از بالنگو شهری بود.

مشاهده شد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر محتوی روغن بذر معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج بیشترین محتوی روغن در رژیم آبیاری ۶۰ درصد مشاهده شد. کاهش مقدار آب آبیاری (رژیم آبیاری ۹۰ درصد) (شکل ۱۰) سبب کاهش محتوی روغن شد که با یافته‌های برزو و همکاران (Borzoo et al., 2021) بر روی گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) مطابق بود. این مطالعه نشان داد که کاهش محتوی روغن بذر کاملینا به‌دلیل کاهش محتوی فتوسنتز در شرایط کم آبی است. گزارش شده است که افزایش غلظت کلروفیل سبب بهبود فتوسنتز شده و منجر به تجمع کربوهیدرات بیشتری در بذر جهت سنتز روغن می‌شود (Heydari & Pirzad, 2020). تلقیح قارچ مایکوریزا در رژیم‌های مختلف آبیاری، محتوی روغن بذر را در هر دو گونه افزایش داد (شکل ۱۰). مطابق با این نتایج خادمیان و همکاران (Khademian et al., 2019)، دلیل افزایش محتوی روغن بذر در گیاهان تلقیح شده کنجد (*Sesamum indicum* L.) را ارتباط همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه گیاه میزبان دانسته که سبب تسهیل در جذب عناصر غذایی خصوصا فسفر گردیده است.

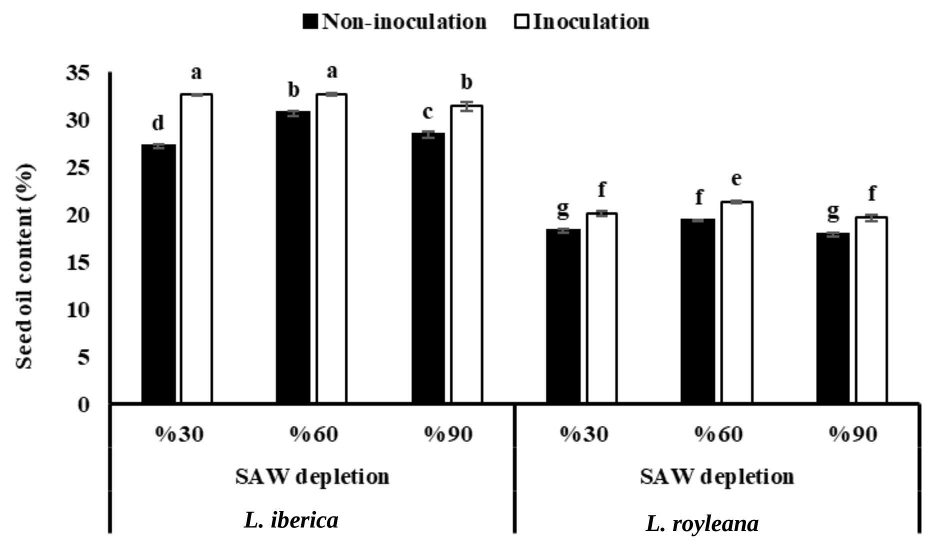


شکل ۹- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر موسیلاژ بذر بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 9-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on seed mucilage of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.



شکل ۱۰- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر محتوی روغن بذر بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 10-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on seed oil content of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

گزارش شده است که قارچ مایکوریزا با افزایش جذب فسفر، نهاده ضرروی ATP و NADPH را برای مسیر سنتز اسیدهای چرب را تامین می‌کند (Mathimaran et al., 2017). بالاتر بودن محتوی روغن بذر در بالنگو شهری تلقیح شده و نشده در مقایسه با بالنگو شیرازی (شکل ۱۰) احتمالاً به‌دلیل بیشتر بودن میزان فسفر در بذرهای بالنگو شهری است (Heydari & Pirzad, 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق کاهش تمامی صفات مورد بررسی در هر دو گونه بالنگو با کم شدن مقدار رطوبت در داخل خاک را نشان داد. در مقایسه به رژیم‌های آبیاری، هر دو گونه بالنگو به رژیم آبیاری ۶۰ درصد مقاومت بهتری نشان دادند. استفاده از قارچ مایکوریزا در تمامی صفات مورد بررسی توانست اثرات منفی تنش کم آبی را بر بالنگو شهری و شیرازی کاهش دهد و سبب افزایش محتوای کلروفیل و پارامترهای رشد و عملکرد دانه بالنگو شهری و شیرازی شود. قارچ مایکوریزا از طریق افزایش استعمار ریشه سبب افزایش کارایی مصرف آب، فسفر بذر و محتوی روغن بذر هر دو گونه بالنگو شد. در مقایسه بین دو گونه گیاهی، بالنگو شیرازی بیشترین مقاومت را به کم آبی در مقایسه بالنگو شهری نشان داد و از طرفی، بالا بودن میزان کلونیزاسیون ریشه در بالنگو شیرازی در مقایسه با بالنگو شهری، احتمالاً به‌دلیل وجود موسیلاژ بیشتر در بذرهای آن است که باعث افزایش استعمار ریشه‌هایش توسط قارچ مایکوریزا شده بود. بنابراین، به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط محدودیت منابع آبی، با مدیریت دقیق آبیاری (استفاده از رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک) و کاربرد قارچ مایکوریزا می‌توان خسارت کم آبی را بر روی عملکرد دانه گونه‌های بالنگو کاهش داد.

Refrences

Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H., and Abdel-Wahhab, M., 2012. Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. Journal of Plant Physiology 169: 704-709. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.01.014

Abdolahi, M., and Maleki Farahani, S., 2019. Seed quality, water use efficiency and eco physiological characteristics of lallemantia (*Lallemantia* sp.) species as effected by soil moisture content. Acta Agriculturae Slovenica 113: 307-320. https://doi.org/10.14720/aas.2019.113.2.12

Al-Snafi, A.E., 2019a. Medical benefit of *Lallemantia iberica*-A review. To Chemistry Journal 3: 97-102.

Al-Snafi, A.E., 2019b. Pharmacological and therapeutic effects of *Lallemantia royleana*-A review. IOSR Journal of Pharmacy 9: 43-50.

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Askari, A., Ardakani, M., Vazan, S., Paknejad, F., and Hosseini, Y., 2018. The effect of mycorrhizal symbiosis and seed priming on the amount of chlorophyll index and absorption of nutrients under drought stress in sesame plant under field conditions. Applied Ecology and Environmental Research 16: 335-357. https://doi.org/10.15666/aeer/1601_335357

Askari, A., Ardakani, M.R., Paknejad, F., and Hosseini, Y., 2019. Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. Scientia Horticulturae 257: 108749. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108749

Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M.M., and Salehi, A., 2020. Improving growth and phenolic compounds of *Echinacea purpurea* root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. Industrial Crops and Products 154: 112763. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112763

Bhatt, A., Bhat, N., Suleiman, M.K., and Santo, A., 2019. Effects of storage, mucilage presence, photoperiod, thermoperiod and salinity on germination of *Farsetia aegyptia Turra* (Brassicaceae) seeds: Implications for restoration and seed banks in Arabian Desert. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of

Plant Biology 153: 280-287. https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1473524

Bonfante, P., and Genre, A., 2010. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. Nature Communications 1: 1-11. https://doi.org/10.1038/ncomms1046

Borzoo, S., Mohsenzadeh, S., Moradshahi, A., Kahrizi, D., Zamani, H., and Zarei, M., 2021. Characterization of physiological responses and fatty acid compositions of *Camelina sativa* genotypes under water deficit stress and symbiosis with *Micrococcus yunnanensis*. Symbiosis 83: 79-90. https://doi.org/10.1007/s13199-020-00733-5

Chen, S., Zhao, H., Zou, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Z., and Ahammed, G.J., 2017. Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. Frontiers in Microbiology 8: 2516. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02516

Declerck, S., Le Pioufle, O., Ganoudi, M., Calonne, M., and Ben Dhaou, F., 2019. Rhizophagus irregularis MUCL 41833 improves phosphorus uptake and water use efficiency in maize plants during recovery from drought stress. Frontiers in Plant Science 10: 897. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00897

Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A., and Damalas, C.A., 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. Agricultural Water Management 218: 149-157. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031

Farahani, A., Lebaschi, H., Hussein, M., Hussein, S.A., Reza, V.A., and Jahanfar, D., 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Medicinal Plants Research 2: 125-131. (In Persian with English Summary)

Ghanbarzadeh, Z., Mohsenzadeh, S., Rowshan, V., and Zarei, M., 2020. Mitigation of water deficit stress in *Dracocephalum moldavica* by symbiotic association with soil microorganisms. Scientia Horticulturae 272: 109549. https://doi.org/10.1016/j. scienta.2020.109549

Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S.S., and Popović-Djordjević, J., 2020. Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. Agricultural Water Management 238: 106234. https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1362999

Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A.M., Alqarawi, A.A., Al-Arjani, A.-B.F., Singh, G., Farooq, M., and Abd Allah, E.F., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. Saudi Journal of Biological Sciences 26: 614-624. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.11.005

Hosseinzadeh, M.H., Ghalavand, A., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., and Mokhtassi-Bidgoli, A., 2020. Increased medicinal contents of purslane by nitrogen and arbuscular mycorrhiza under drought stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis 51: 118-135. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1695828

Heydari, S., and Pirzad, A., 2020. Efficiency of *Funneliformis mosseae* and *Thiobacillus* sp. on the secondary metabolites (essential oil, seed oil and mucilage) of *Lallemantia iberica* under salinity stress. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 96: 249-259. https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1833764

Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., and Rouphael, Y., 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management 90: 213-223. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.03.009

Khademian, R., Asghari, B., Sedaghati, B., and Yaghoubian, Y., 2019. Plant beneficial rhizospheric microorganisms (PBRMs) mitigate deleterious effects of salinity in sesame (*Sesamum indicum* L.): Physio-biochemical properties, fatty acids composition and secondary metabolites content. Inustrial crops and Products. 136: 129-139. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.002

Khalid, K.A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). International Agrophysics 20: 289-296.

Khosrowshahi, Z.T., Slehi-Lisar, S.Y., Ghassemi-Golezani, K., and Motafakkerazad, R., 2018. Physiological responses of safflower to exogenous putrescine under water deficit. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 14: 38-48.

Kormanik, P., and McGraw, A., 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In Schenck N.C. (Ed.) Methods and principles of mycorrhizal research, pp. 37–45. St. Paul, Minn., American Phytopathological Society.

Langeroodi, A.R.S., Osipitan, O.A., Radicetti, E., and Mancinelli, R., 2020. To what extent arbuscular mycorrhiza can protect chicory (*Cichorium intybus* L.) against drought stress. Scientia Horticulturae 263: 109109. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109109

Mathimaran, N., Sharma, M.P., Mohan Raju, B., and Bagyaraj, D., 2017. Mycosphere Essay 17 Arbuscular mycorrhizal symbiosis and drought tolerance in crop plants. Mycosphere 8: 361-376.

Mathur, S., Tomar, R.S., and Jajoo, A., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. Photosynthesis Research 139: 227-238. https://doi.org/10.1007/s11120-018-0538-4

Mohammadi, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Pirdashti, H., Zand, B., and Tahmasebi-Sarvestani, Z., 2018. How to change the ratio of unsaturated (omega 3, 6, 7 and 9) to saturated fatty acids in *Oenothera biennis* L. oil under water deficit stress, fertilizers and geographical zones. Plant Physiology and Biochemistry 133: 71-80. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.02

Mohammadi, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Pirdashti, H., Zand, B., and Tahmasebi-Sarvestani, Z., 2019. Arbuscular mycorrhizae alleviate water deficit stress and improve antioxidant response, more than nitrogen fixing bacteria or chemical fertilizer in the evening primrose. Rhizosphere 9: 76-89. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.11.008

Omidi, H., Shams, H., Sahandi, M.S., and Rajabian, T., 2018. Balangu (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. Plant Physiology and Biochemistry 130: 641-646. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.014

Paravar, A., Maleki Farahani, S., and Rezazadeh, A, 2021a. *Lallemantia* species response to drought stress and Arbuscular mycorrhizal fungi application. Industrial Crops and Products 172: 114002. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114002

Paravar, A., Maleki Farahani, S., and Rezazadeh, A., 2021b. The effect of mycorrhiza on catalase enzyme activity and growth and qualitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) under deficit irrigation. Journal Plant Process and Function 10: 235-248. (In Persian with English Summary)

Paravar, A., Maleki Farahani, S., and Rezazadeh, A., 2018. Effect of drought stress during seed development on seed vigour, membrane peroxidation and antioxidant activity in different species balangu (*Lallemantia* sp.). Journal oF Crops Improvement 20: 145-159. (In Persian with English Summary)

Pawar, P.B., Khadilkar, J.P., Kulkarni, M.V., and Melo, J.S., 2018. An approach to enhance nutritive quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil through endo mycorrhizal fertigation. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 14: 18-22. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.01.012

Pirzad, A., and Mohammadzadeh, S., 2018. Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). Agricultural Water Management 204: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.020

Plouznikoff, K., Asins, M.J., de Boulois, H.D., Carbonell, E.A., and Declerck, S., 2019. Genetic analysis of tomato root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi. Annals of Botany 124: 933-946. https://doi.org/10.1093/aob/mcy240

Rahimzadeh, S., and Pirzad, A., 2019. Pseudomonas and mycorrhizal fungi co-inoculation alter seed quality of flax under various water supply conditions. Industrial Crops and Products 129: 518-524. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.038

Schenck, N.C., and Perez, Y., 1990. M Manual for the Identifcation of VA Mycorrhizal Fungi Gainesville. Synergistic Publications, FL, USA.

Sharma, P., and Koul, A., 1986. Mucilage in seeds of *Plantago ovata* and its wild allies. Journal of Ethnopharmacology 17: 289-295.

Soares, G.F., Ribeiro Júnior, W.Q., Pereira, L.F., Lima, C.A.D., Soares, D. D.S., Muller, O., and Ramos, M.L.G., 2021. Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency. Scientia Agricola 78(5): e20190304. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0304

Stuffins, C., 1967. The determination of phosphate and calcium in feeding stuffs. Analyst 92: 107-111.

Visavadiya, N.P., Soni, B., and Dalwadi, N., 2009. Free radical scavenging and antiatherogenic activities of *Sesamum indicum* seed extracts in chemical and biological model systems. Food and Chemical Toxicology 47: 2507-2515. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.07.009

Wu, Q.S., He, J.D., Srivastava, A., Zou, Y.N., and Kuča, K., 2019. Mycorrhizas enhance drought tolerance of citrus by altering root fatty acid compositions and their saturation levels. Tree Physiology 39: 1149-1158.

https://doi.org/10.1093/treephys/tpz039

Wu, Q.S., Srivastava, A.K., and Zou, Y.N., 2013. AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: A review. Scientia Horticulturae 164: 77-87. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.010

Xu, X., Zhang, M., Li, J., Liu, Z ,.Zhao, Z., Zhang, Y., Zhou, S., and Wang, Z., 2018. Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain. Field Crops Research 221: 219-227. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.011

Zlatanov, M., Antova, G., Angelova-Romova, M., Momchilova, S., Taneva, S., and Nikolova-Damyanova, B., 2012. Lipid structure of *Lallemantia* seed oil: A potential source of omega-3 and omega-6 fatty acids for nutritional supplements. Journal of the American Oil Chemists' Society 89: 1393-1401. https://doi.org/10.1007/s11746-012-2042-x